

数字时间相关积累(II)——互相关积累*

许 天 增

(厦门大学亚热带海洋研究所)

1989年1月3日收到

摘要 本文对数字时间互相关积累,及与之相适配的信号调制方式的原理和结构作简要讨论,估算了其虚警概率、检测概率和输入信噪比。理论分析和现场实验证明了互相关积累,如同自相关积累一样,能适应于时-空变、多途和噪声控制的浅水声信道,具有低速率意义下的普适性。

A digital time correlative accumulation (II) ——cross-correlative accumulation

XU Tianzeng

(Institute of Subtropical Oceanography, Xiamen University, Xiamen)

Received January 3, 1989

Abstract The digital time cross-correlative accumulation scheme is described in this paper. The principle and the basic structure of the scheme are introduced first, the detection probability, false-alarm probability and input (S/N) are then analysed for some typical sonar systems. Superior performances have been proved to be true through theoretical estimations and experiments in sidte, another signal processing scheme of common sense for the complicated shallow-water acoustic channel is offered.

一、基本原理和结构

本文(I)讨论了DTACA的声呐系统的基本结构和性能,证明了它能适应于复杂的浅海声信道。显然如采用数字时间互相关积累(DTCCA),也应能获得良好的效果。

DTCCA及其适配的信号调制方式的具体结构可因使用的场合的不同而异。这里以最简单的周期开关键控单频载波的互相关积累(简记为POOK-DTCCA)来讨论这类信号处理方式的基本原理和进行性能的估算。

POOK-DTCCA接收机的方块图如图1所示,它由接收通道和参考通道组成,参考信号由预置的序列脉冲组成。当然参考信号也可由发射机直接引入。对于一比特量化的DTCCA,参考信号即发射机的调制方波,并把它整形为适宜宽度以改变互相关器中符合运算

* 国家自然科学基金资助项目。

的时间。在接收通道中,信号(以及噪声)首先经放大、滤波后进入检波器,超过振幅门限的信号包络经一比特量化的 A/D 形成相应宽度的方波。由于信号的相位和振幅信息已丢失,保留下脉宽信息,这时相关器中的积分器如同脉宽鉴别器,可以放在相乘器,也可放在 A/D 之后,并经整形形成适宜宽度的方波。相乘器(或积分器)输出经累加后与预置的个数门限比较,从而最终进行“有”或“无”信号的判决。由此可见,

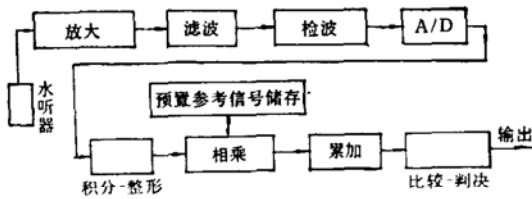


图 1 POOK-DTCCA 方块图

如同 POOK-DTACA 一样, POOK-DTCCA 也设置着振幅、脉宽、重复周期和累加个数四个门限。信号和多途的被检测以及噪声形成误判,都要通过这些门限。

为了实现多指令遥控或多信息的遥测,可采用非周期的 POOK-DTCCA 方案。海洋多要素声学遥测仪实验样机的开关键控调制方波如图 2,其编码形式考虑了抗噪声和多途干扰的要求。图中 U_1 为起始码, U_0 、 U_1 为信号码。实验样机工作过程大致为:温、盐、深等传感器输出的模拟信息,经 A/D 和并-串转换后,由选通逻辑选取对应的码字,经数字调谐和功放,通过发射换能器把数字数据输送于水声信道。水听器接收的单频编码脉冲信号,经放大、滤波和检波后,由取样一次判决判定单个脉冲。由移位寄存器等组成的互相关检测网络进行二次判决,收码控制逻辑解出相应的码元,经串-并转换暂存,在终端显示、记录和打印。

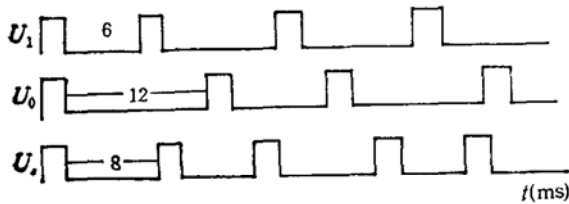


图 2 APOOK-DTCCA 编码形式

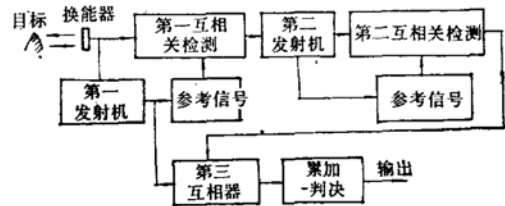


图 3 POOK-DTCCAC 结构示意图

对实用中某些较复杂的使用场合,可采用 DTCCA 的组合。以探索新航道为目的的浅海暗礁探测仪就是采用 POOK-DTCCAC 方案^[3]。此探测仪必须工作于特浅,如几米水深的海域,海面和海底的多途干扰十分强烈。为消除其形成的码间干扰,采用了时、空分划和脉宽判决,并由 DTCCA 综合实现之。

POOK-DTCCAC 的结构示意图如图 3。它由三个互相关器和累加判决器有机地组成。第一发射机向船的一边发射声脉冲,并由第一互相关器判决单个回收。一旦信号获得就触发第二发射机向另一边作相似的探索。第三互相关器最后判定航道相应的宽度。此探测仪工作于走航状态,噪声级较高,采用了累加判决方案以提高抗噪声能力。

图 4 为厦门港外浅海信道声脉冲信号的检波输出波形,有较明显的多途迭加。对于这样的接收信号,拷贝相关器运算的结果示于图 5 的下半部^[3],互相关系数只有 0.265,有明显的失相关特性,并且有两个明显的旁瓣。事实上,声脉冲在浅海中传输,经随机时、空、频变和随机多途、噪声的迭加,已成了一随机过程,其包络与方波相差甚远。如果以其中一个接收信号包络作为参考信号,这样运算的脉间相关系数高得多,两次相关系数均为 0.996,且没有旁瓣出现(见图 5 上半部份)。在这样处理中多途也作为信号的一部份,其能量被利用了。

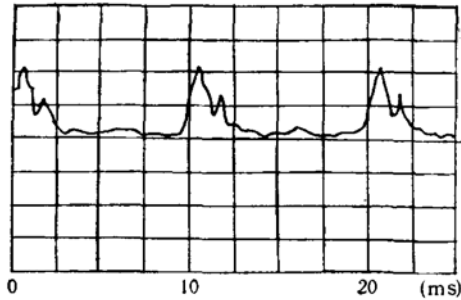


图 4 接收信号包络,多途稍明显

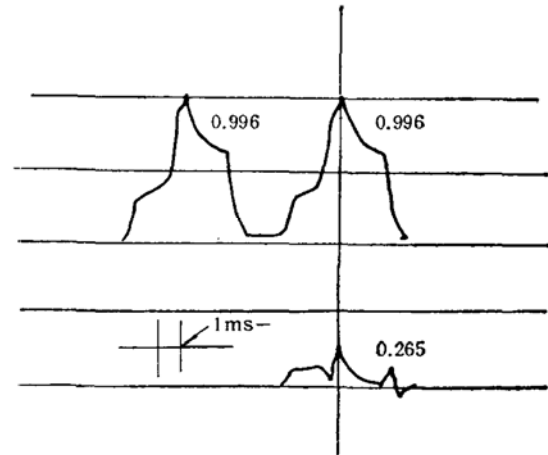


图 5 脉间相关和拷贝相关系数

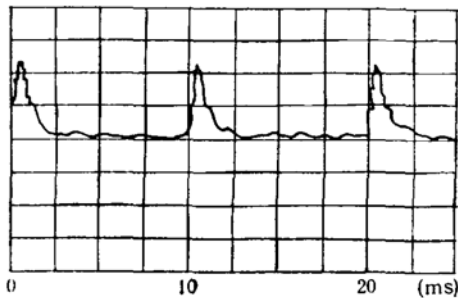


图 6 接收信号包络,多途不太明显

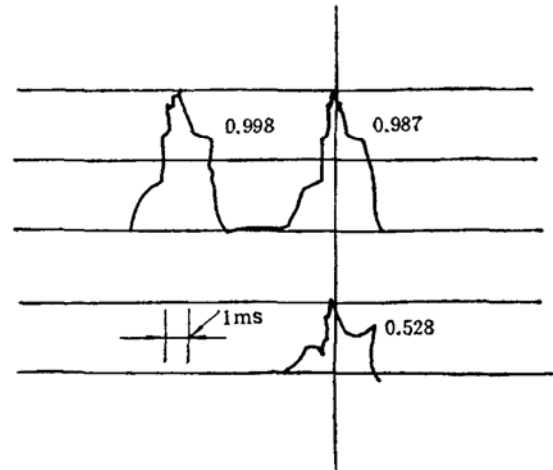


图 7 图 6 接收信号的脉间和拷贝相关系数

图 6 和图 7 表示另一组数据。由于这时多途干扰较弱,相关系数达 0.528,但比起实时包络作为参考信号的相关性仍然弱得多。

由此可见,如果在同步信号之后,发射一个脉冲以激励信道,并以其包络作为参考信号的脉间相关检测,其性能应比拷贝相关的性能有所提高。

作为脉间相关匹配处理的一个例子,发射信号按图 8 所示的方波序列进行调制。第一个宽脉冲作为起始脉冲,其后三个短脉冲中,第一个作为激励信道之用,以它作为参考信号;第二、三短脉冲之间距离 T_0 和 T_1 携带信息,可以把它们看为码元“0”和“1”而进行编码,并重复发射 M 次。在获得脉间相关系数的数值及其分布后,就可留有余地地确定相关系数门限,作为检测第二、三短脉冲的判据。

对于发-接合一的主动声呐系统,要求知道回波的距离(如回声测深仪)以及回声强度(如探鱼仪),作为声呐测距和目标识别(如鱼群密度)的参考。图 8 表示正在研制的 DTCCA 探鱼、测深两用主动声呐的基本结构图。发射机发射 N 个单频脉冲串,其中第一个作为回波自适应振幅门限和出现时间的判定,并被储存作为参考信号,其余作为相关积累信息。所有这些信

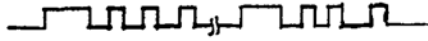


图 8 脉间相关检测调制方波序列

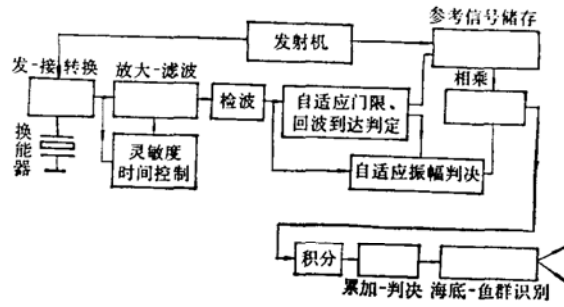


图 9 DTCCA 探鱼、测深两用机方块图

息经自适应振幅门限判决后,在相关器中相乘、积分,以检测随后到达的各个回波信号,而后进行相关后的积累、判决。在良好的灵敏度时间控制前提下,根据鱼群与海底回波特性的差异,海底、鱼群识别网络可消去水体中各类不均匀性的回波而获得海深信息,反之,改变软件程序,可消去海底回波而获鱼群信息,可望研制成多功能、数字化的测深、探鱼两用机。厦门港内的初步实验证明了这个结论。实验中以两个塑料球作模拟目标放置于水层中间。作回声测深仪使用时,海底深度的正确数字显示率达 100%,模拟目标没显示。改变软件程序以消去海底而作为探鱼仪使用时,能正确判断两个目标的存在,位置显示正确,海底没显示。船只由 2 节至 8 节航行,海底数据显示稳定,证明了其强的抗噪声能力。

二、性能分析

如同 DTACA 一样,在 DTCCA 接收机中,信号(或多途)实现正确的判决或噪声形成虚警,都要通过振幅等四个门限。

在接收通道中,噪声和信号加噪声通过振幅和脉宽门限的概率的估算与 DTACA 相同,并由信号和噪声方波的宽度分布,计算出 $P_{s+n}(\tau_1 < \tau < \tau_2)$ 和 $p_n(\tau_1 < \tau < \tau_2)$ 。下面估算噪声和信号加噪声通过重复周期门限,而在相乘器实现符合运算的概率 p_c 和 P_c 。对于互相关器,参考信号是确知的,因此符合运算时间的选定只需考虑接收通道重复周期 T_0 的起伏。如取为 $T_0 \pm 3\sigma_{eT}$, 这里 σ_{eT} 为接收信号 T_0 相对于参考信号的标准偏差,则信号通过重复周期门限的概率 $P_c(T_0) = 0.9973$ 。至于噪声通过重复周期门限的概率可由下式估算^[4]

$$p_c(T_0) \cong \frac{2\Delta T_c}{T_0}$$

式中 ΔT_c 为参考信号和噪声方波整形后的宽度。依信号要求, $\Delta T_c = 3\sigma_{eT}$ 。

如同 DTACA 一样, DTCCA 虚警概率 $P_c(f)$ 和检测概率 $P_c(d)$ 仍由二项分布率估算:

$$P_c(f) = \sum_{j=k}^m C_m^j p_c^j (1 - p_c)^{m-j}$$

$$P_c(d) = \sum_{j=k}^M C_M^j P_c^j (1 - P_c)^{M-j}$$

各参数的意义同本文 (1)。

浅海目标遥测仪 $P_c(f)$ 和 $P_c(d)$ 的理论估算值如表 1、2 所示。依此数据算得的速率 $R \cong 15$ 比特/秒。现场实验数据为 $P_c(d) > 0.8$, $P_c(f) \rightarrow 0$, 与理论估算值很好地相符。

表 1 浅海暗礁探测仪的 $P_c(f)$

m	k	$P_c(f)$
21	7	1.4×10^{-10}
21	6	9.5×10^{-10}
18	6	3.1×10^{-9}
18	5	3.2×10^{-8}
15	5	7.4×10^{-9}
15	4	4.1×10^{-7}

表 2 浅海暗礁探测仪的 $P_c(d)$

M	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6
k	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
P_c	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
$P_c(d)$	0.97	0.93	0.85	0.76	0.65	0.89	0.78	0.66	0.54	0.42

使用于海洋多要素声遥测仪的 APOOK-DTCCA 实验样机, 取 $A/\sigma_{i+n} = 1$, $M = 13$, $k = 10$, 可算得 $P_c(d) = 0.93$, $P_c(f) \rightarrow 0$, 与实验结论相符^[2]。

对脉间相关匹配处理方式性能的估算稍有不同。图 8 所示的同步宽脉冲和激励短脉冲只由振幅和脉宽门限判定。信息脉冲还要通过相关系数和累加个数门限, 最终才能获得 T_0 和 T_1 的判决。相关系数门限由其分布律确定。

实验样机的同步脉冲宽度取 5 ms, 其余均为 0.5 ms。 $T_1 = 19.87$ ms, $T_2 = 48.24$ ms。实验指出, 脉间相关系数大于 0.75。取 0.7 为其门限, $M = 2$ 。在 2.5 湮接收, T_1 正确检测率为 0.84, T_2 为 0.88, $P_c(f) = 0$ 。实验结果与理论估算是一致的。

三、简要结论

只要信号参数选择适合, DTCCA 信号处理方式能适应于浅海信道中较低速率的单程或双程探测声呐, 并具有优越的性能。

一般地说, DTCCA 比起 DTACA 有更高的抗噪声能力, 但在信号畸变严重的信道中, 后者有更好的信道适应性。

如取信号实时包络作为参考信号, 可提高 DTCCA 的检测性能。但由于二进制的 DTCCA 简单得多, 许多实用场合仍宜于采用。

参 考 文 献

- [1] 厦门大学浅海遥测仪研制组, 厦门大学学报, 20(1981), No. 2, 258—259.
- [2] 林耀华、范健、许天增、何恩典, 海洋技术, 1987, No. 2, 56—61.
- [3] Yunlian Liang, Yubin Pu, Proceedings of International Workshop on Marine Acoustics, China Ocean Press (1990), 233—236.
- [4] 许天增, 厦门大学学报, 23(1984), No. 1, 51—60.